

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) RU (11) **2 572 921** (13) C2ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(51) МПК

[C23C 14/34 \(2006.01\)](#)[G11B 5/66 \(2006.01\)](#)[B82B 3/00 \(2006.01\)](#)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: прекратил действие, но может быть восстановлен (последнее изменение статуса:
07.08.2017)
Пошлина: учтена за 3 год с 15.11.2015 по 14.11.2016

(21)(22) Заявка: [2013150850/02](#), 14.11.2013(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
14.11.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 14.11.2013

(43) Дата публикации заявки: 20.05.2015 Бюл. №
[14](#)(45) Опубликовано: [20.01.2016](#) Бюл. № [2](#)(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: US 8259419 B2, 04.09.2012. US
8284520 B2, 09.10.2012. US 7476414 B2,
13.01.2009. US 7130163 B2, 31.10.2006. RU
2451769 C2, 27.05.2012.

Адрес для переписки:

620000, г.Екатеринбург, пр. Ленина, 51,
Уральский федеральный университет

(72) Автор(ы):

Сорокин Александр Николаевич (RU),
Свалов Андрей Владимирович (RU),
Васьковский Владимир Олегович (RU),
Савин Петр Алексеевич (RU),
Курляндская Галина Владимировна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н.
Ельцина" (RU),
Акционерное общество "Научно-
производственное объединение
автоматики имени академика
Н.А.Семихатова" (RU)

(54) СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ МАГНИТНЫХ ПЛЕНОК

(57) Реферат:

Изобретение относится к области изготовления многослойных магнитных пленочных материалов и может быть использовано в технологии получения сред для записи информации или при производстве датчиков. Способ получения многослойных магнитных пленок включает ионно-плазменное напыление, по крайней мере, двух основных слоев из одного и того же магнитного материала и прослойки между ними из магнитного материала, отличного от материала основных слоев, при этом основные слои напыляют из магнитомягкого материала толщиной, не превышающей толщину возникновения закритического состояния, а выбор материала прослойки осуществляют путем отбора магнитных материалов, абсолютная величина интеграла обменного взаимодействия у которых ниже, чем у материала основных слоев, ранжирования их по степени убывания по указанному параметру, выполнения напыления с прослойками из материалов с заданным шагом измерения коэрцитивной силы, H_c , сравнения полученных значений с заданным значением H_c для многослойной пленки, при этом при получении значений, отличных от заданного, шаг для выбора ранжированных материалов уменьшают и процесс напыления, измерения

значений H_c и сравнения с заданным значением повторяют, а напыление прослойки осуществляют из материала со значением H_c , соответствующим заданному значению. Изобретение направлено на расширение технологических возможностей при ионно-плазменном напылении, сокращение временных затрат. 1 табл., 3 ил.

Изобретение относится к области изготовления многослойных пленочных материалов и может быть использовано, например, в технологии получения сред для записи информации или при производстве датчиков.

В технологических процессах получения пленок в зависимости от поставленных целей используют подпыление различных промежуточных слоев, например, в слоях типа: магнитный слой/прослойка/ - магнитный слой, материал прослойки может быть как немагнитным, так и с иными свойствами. Подход к выбору прослойки, описанный ниже, хотя и выполнен на основе магнитных материалов, по нашему мнению, носит общий характер.

В зависимости от условий применения такая многослойная пленочная среда может выступать как в качестве активного элемента, например, в датчиках магнитного поля, так и вспомогательного звена, например, в качестве концентратора магнитного потока в вышеуказанных магниторезистивных датчиках.

В частности, в случае использования эффекта магнитного импеданса пленки должны удовлетворять определенным критериям, а именно: обладать низкой коэрцитивной силой (H_c), хорошо выраженной магнитной анизотропией в плоскости образца, а толщина (L) пленок должна составлять сотни нанометров. Указанным критериям отвечают как поликристаллические пленки, такие как, например, FeNi и FeAlN, так и аморфные пленки типа FeSiB.

Однако изготовление таких пленок является непростой задачей из-за влияния условий получения на формирующуюся структуру и внутренние напряжения, как правило, возникающие в пленках. Анизотропия формы столбчатой структуры и напряжения в совокупности с магнитострикцией могут способствовать возникновению перпендикулярной магнитной анизотропии (ПМА), которая стремится ориентировать намагниченность пленок вдоль нормали к их поверхности. В результате при толщине пленки выше некоторого критического значения (L_c), величина которого находится обычно в интервале от 100 нм до 350 нм, пленка переходит в так называемое «закритическое» магнитное состояние, характеризующееся появлением перпендикулярной к плоскости пленки компоненты намагниченности, возникновением особой магнитной доменной структуры - страйп-доменов, резким увеличением коэрцитивности пленок, потерей выраженной магнитной анизотропии в плоскости пленок. Величина L_c зависит как от материала пленки, так и параметров напыления (N. Amos, R. Fernandez, R. Ikkawi, B. Lee, A. Lavrenov, A. Krichевsky, D. Litvinov, and S. Khizroev. Magnetic force microscopy study of magnetic stripe domains in sputter deposited Permalloy thin films. J. Appl. Phys. 103, (2008) 07E732).

Одним из путей по предотвращению возникновения «закритического» состояния является введение немагнитной прослойки в «толстую» магнитную пленку (S.F. Cheng, P. Lubitz, Y. Zheng, A.S. Edelstein. Effects of spacer layer on growth, stress and magnetic properties of sputtered permalloy film. J. Magn. Magn. Mater. 282, (2004) 109). В результате чего получается многослойная пленка типа: магнитный слой/прослойка/ - магнитный слой, где прослойка разделяет магнитные слои из одного и того же материала.

Авторы заявки исследовали такой способ с применением пленок пермаллоя, обладающих столбчатой структурой. В исследованных пленках величина $L_c \approx 180$ нм была определена экспериментально, толстые пленки FeNi разбивались на слои, толщина которых не превышала L_c , путем напыления немагнитных прослоек (Ta, Cr). Тем самым сохранялся необходимый объем магнитного материала и не ухудшались его магнитные параметры. Толщина прослойки в данном случае выбирается достаточной для разрыва обменной связи между слоями FeNi и составляет несколько нанометров. Влияние межслойного магнитостатического взаимодействия на коэрцитивную силу не принимается во внимание. Процесс выбора материала прослойки не раскрывается: немагнитных материалов известно довольно много.

Такое же решение - введение немагнитных прослоек - применяется и в том случае, когда основным источником ПМА считаются внутренние напряжения (в совокупности с магнитострикцией), возникающие в пленке в процессе ее осаждения (например, W.F. Egelhoff, Jr., J. Bonevich, P. Pong, C.R. Beauchamp, G.R. Stafford, J. Unguris, R.D. McMichael, «400-fold reduction in saturation field by interlayering, J. Appl. Phys. 105, (2009) 013921). В качестве прослойки здесь использовалось серебро, а

магнитная пленка имела состав $\text{Ni}_{77}\text{Fe}_{14}\text{Cu}_5\text{Mo}_4$ и толщину перехода в «закритическое» состояние ~ 300 нм. Ввод прослойки Ag приводит к сильному снижению величины напряжений, то есть величина L_c теоретически может возрастать.

Однако никаких данных относительно величины указанного теоретического предела для этих пленок не приводится. На каких основаниях выбран материал прослойки, не раскрывается.

Известно также решение, в котором величина L_c увеличивается за счет механизма косвенного обменного взаимодействия между магнитными слоями и который заключается во введении металлической немагнитной прослойки (Ru) такой толщины, которая обеспечивает антиферромагнитное взаимодействие между соседними слоями (патент US 7666529, МКП G11B 5/66, G11B 5/667, от 22.09.2005). Величину межслойного обменного взаимодействия уменьшают введением дополнительных слоев. Косвенное обменное взаимодействие между магнитными слоями осуществляется через электроны проводимости материала прослойки. Данная связь является короткодействующей и практически исчезает при толщине прослойки, измеряемой единицами нанометров. Кроме того, она носит осциллирующий характер, то есть в зависимости от толщины прослойки между слоями может устанавливаться как положительное, так и отрицательное обменное взаимодействие, выстраивающее магнитные моменты слоев, разделенных прослойкой, параллельно или антипараллельно друг другу. Причем период осцилляции такой связи, т.е. перехода от ферромагнитного к антиферромагнитному упорядочению магнитных моментов слоев, составляет всего 1 нм. Авторы этого решения в качестве материала для магнитных слоев использовали аморфные сплавы на основе Co, Fe, B, P и Si, а немагнитной прослойки - рутений (Ru) и наблюдали увеличение L_c от 130 нм для однослойной пленки до 230 нм для слоев, входящих в состав многослойной структуры, в которой магнитные слои были связаны антиферромагнитно. Но данный способ предъявляет очень высокие требования к процессу напыления пленок, так как толщина прослойки Ru, при которой реализуется антиферромагнитное взаимодействие желаемой величины, не превышает 1 нм, при этом прослойка Ru должна быть сплошной, исключающей прямое обменное взаимодействие между магнитными слоями через поры в прослойке. По каким причинам выбор сделан в пользу этого материала, не ясно.

Таким образом, независимо от природы возникновения ПМА в пленках (столбчатая структура или внутренние напряжения) путем введения немагнитных прослоек возможно получение многослойных магнитных структур, чья суммарная толщина намного превосходит критическую толщину перехода в «закритическое» состояние отдельного магнитного слоя, входящего в многослойную структуру. Следует отметить, что выбор материала прослойки чаще всего выполняется без изложения соответствующих доводов.

Однако не для всех применений магнитных пленок введение немагнитной прослойки, разбивающее прямое магнитное взаимодействие между слоями, является желаемым. В ряде случаев предпочтительным является сохранение магнитной сплошности через всю многослойную структуру. Для этого авторы уже упомянутой работы (W.F. Egelhoff, Jr., J. Bonevich, P. Pong, C.R. Beauchamp, G.R. Stafford, J. Unguris, R.D. McMichael, «400-fold reduction in saturation field by interlayering, J. Appl. Phys. 105, (2009) 013921, прототип) предложили использовать вместо немагнитной прослойки из магнитного материала, но имеющего иную кристаллическую структуру, чем основные магнитные слои. То есть критерием выбора материала прослойки являлся тип (параметры) кристаллической структуры. В качестве примера в работе использовали прослойку сплава CoFe, обладающего оцк-решеткой, отличной от гцк-решетки основных слоев из сплава $\text{Ni}_{77}\text{Fe}_{14}\text{Cu}_{15}\text{Mo}_4$, и наблюдали отсутствие "закритического" состояния в многослойной структуре, состоящей из четырех основных магнитных слоев толщиной 100 нм, разделенных прослойками CoFe толщиной 2 нм, в то время как для однослойной пленки $\text{Ni}_{77}\text{Fe}_{14}\text{Cu}_{15}\text{Mo}_4$ величина L_c составляла ~ 300 нм. Но вместе с тем авторы приводят и данные, показывающие, что введение прослойки может снижать напряжение в пленке в десятки и даже сотни раз. Таким образом, в соответствии с вышеупомянутыми соотношениями можно предположить, что и величина L_c для магнитных слоев в многослойной пленке может значительно возрасти и превысить суммарную толщину, взятую авторами в качестве примера для многослойной пленки (~ 400 нм). Однако, как показала проверка, если толщина основных слоев близка к L_c , то введение между ними прослойки из CoFe не предотвращает возникновения «закритического» состояния в многослойной пленке.

Таким образом, при введении прослойки из CoFe «закритическое» состояние не возникает только в том случае, если суммарная толщина многослойной пленки не превышает L_c для отдельного магнитного слоя, входящего в состав многослойной структуры.

Отметим, что при введении немагнитной прослойки между основными магнитными слоями, толщины которых меньше, чем L_c , возможно дополнительное улучшение магнитной мягкости пленок благодаря эффекту сохранения межслойной связи в определенном диапазоне толщин указанной прослойки. В этом случае магнитное взаимодействие между слоями осуществляется за счет магнитостатических механизмов. При этом магнитный поток от доменных границ разных слоев становится частично замкнутым. Это снижает плотность энергии таких границ и, как следствие, уменьшает коэрцитивную силу слоистой пленки (H. Clow, Very low coercive force in nickel-iron films. Nature, vol. 194, pp.1035-1036, 1962). Зависимость $H_c(L)$ имеет немонотонный характер: первоначальное резкое снижение H_c начинается при $L \sim 1$ нм, а затем сменяется ростом H_c . При этом минимум H_c достигается при величине L в интервале от 2 до 6 нм, а его ширина не превышает 2-3 нм, что приносит дополнительные трудности в технологию получения пленок и является недостатком материала. Указанные особенности в поведении зависимости $H_c(L)$ определяется степенью магнитного взаимодействия слоев, разделенных прослойкой. Как было установлено, наличие положительной связи через межслойную границу способствует возникновению пар доменных границ с пониженной магнитостатической энергией. С ростом толщины прослойки магнитное взаимодействие ослабевает, что приводит к возрастанию усредненной граничной энергии и увеличению H_c .

Из сказанного следует, что для приведенного случая необходимо так подобрать материал для прослойки, чтобы обеспечить положительное магнитное взаимодействие между слоями (нужной величины и в более широком интервале толщин прослойки). Величина этого взаимодействия должна быть гораздо меньше величины прямого обменного взаимодействия слоев и в то же время быть достаточной, чтобы обеспечить возникновение парных доменных границ, расположенных в соседних слоях. И, кроме того, взаимодействие должно быть более дальнотействующим, чем магнитостатическое взаимодействие.

Задача, на решение которой направлено изобретение, заключается в разработке способа подбора материала для прослойки, например, для пленок с двумя одинаковыми слоями и прослойки между ними, который бы способствовал ускоренному достижению нужных свойств таких пленок.

Технический результат получаемого при реализации изобретения состоит в разработке способа, расширяющего технологические возможности при ионно-плазменном напылении многослойных пленок и сокращающего временные затраты.

Поставленная задача достигается за счет того, что в способе получения многослойных пленок, заключающегося в напылении, по крайней мере, двух основных слоев из одного материала и прослойки между ними из другого материала, выбор материалов для прослойки осуществляют путем их ранжирования по выбранному параметру, например, по степени убывания этого параметра, напыление пленок проводят в соответствии с требуемыми свойствами с заданным шагом параметра, и по мере приближения к требуемым (оптимальным свойствам) шаг просмотра материалов уменьшают до минимально возможного.

В частном случае для напыления основных слоев используют магнитные материалы в «закритическом» состоянии, а в качестве выбранного параметра для магнитного материала прослойки используют интеграл обменного взаимодействия.

Кроме того, при этом возможно варьирование толщины слоев как самих магнитных материалов, так и толщины магнитных прослоек

Возможность достижения положительного эффекта при использовании предлагаемого технического решения может быть объяснена следующим образом.

При опоре на магнитные материалы исходим из того, что в качестве материала для основных магнитных слоев может быть использован любой магнитомягкий сплав, как поликристаллический типа пермаллоя Fe_xNi_{100-x} с близкими к нулю константами магнитострикции и магнитокристаллической анизотропии, так и аморфный на основе сплавов Co и Fe с аморфизаторами типа B, Si, P и легирующими добавками типа Zr, Cr, Ta. Как правило, для таких сплавов коэрцитивная сила не превышает единиц эрстед. Использование материалов с более высокой коэрцитивной силой может возникнуть при необходимости получения новых свойств в многослойных пленках. Для материала прослойки выбор можно сделать из довольно большого количества

металлов и сплавов. Простой перебор таких возможных случаев потребует больших ресурсов. Поэтому предлагаемая последовательность действий будет способствовать ускорению в процессе достижения заданных свойств.

Предлагаемый способ получения многослойных пленок поясняется на примере получения многослойной пленки, состоящей из двух основных магнитных слоев из одного и того же материала и прослойки, выполненной из магнитного материала, отличного от материала слоев.

Для таких материалов процесс выбора происходит путем выполнения следующих действий:

1. предполагаемые к использованию в качестве прослойки магнитные материалы (ферромагнитные металлы и их сплавы) заносятся в таблицу, например, в порядке убывания величины абсолютных значений их интегралов обменного взаимодействия, составленной на основе литературных данных. Например, в следующем виде:

Материал	Co (A1)	CoFe (A2)	Gd-Co (A3)	Dy ₂ Fe ₁₂ Al ₅ (A4)	Gd (A5)	Tb ₂ Fe ₁₂ Ga ₅ (An)	(An+1)
Параметр (Интеграл) J (эрг)	J1	J2	J3	J4	J5	Jn	Jn+1
	$5,4 \times 10^{-14}$	$4,8 \times 10^{-14}$	$1,6 \times 10^{-15}$	$1,3 \times 10^{-15}$	$1,2 \times 10^{-15}$	$1,2 \times 10^{-15}$	

2. пошагово: используют для прослойки материал, стоящий первым в таблице, задают шаг (например, через один материал) и выполняют напыления с прослойкой из этого материала, по измеренным свойствам оценивают степень их приближения к заданным; шаг сохраняют, если измеренные параметры существенно отличаются от искомых, и шаг уменьшают (например, используя следующий по очереди материал), если наблюдается приближение к искомым параметрам, и выполняют напыление пленки с прослойкой из этого материала; затем вновь измеряют контролируемые параметры, на основе которых или выполняют напыление со следующим материалом прослойки, или считают результат достигнутым.

Кроме указанных действий существует упрощенная схема: после выбора материала для основных магнитных слоев в качестве материала прослойки выбирают материал, величина собственного интеграла обменного взаимодействия которого значительно меньше (примерно на порядок) аналогичного параметра материала основных магнитных слоев. Но в таком случае низка вероятность получения наиболее оптимального варианта искомых параметров многослойной пленки.

Последовательность действий в соответствии с предлагаемым решением рассмотрена с использованием приведенных ниже иллюстраций, на которых показано:

на фиг.1 представлены петли гистерезиса для пленочных структур на основе пермаллоя Fe₂₀Ni₈₀ с прослойками Co толщиной 5 нм (а) и 20 нм (b) и прослойками CoFe толщиной 5 нм (c) и 20 нм (d);

на фиг.2 представлены петли гистерезиса для пленочных структур на основе пермаллоя Fe₂₀Ni₈₀ с прослойками Gd толщиной 1 нм (а) и 2 нм (b) и прослойками Gd-Co толщиной 4 нм (c) и 6 нм (d);

на фиг.3 приведены зависимости коэрцитивной силы H_c от толщины прослойки Gd (а) и Gd-Co (b) для пленочных структур на основе пермаллоя Fe₂₀Ni₈₀.

Пленочные образцы Fe₂₀Ni₈₀/X/Fe₂₀Ni₈₀ (X=Co, CoFe, Gd и аморфный сплав Gd₂₁Co₇₉) были получены методом ионно-плазменного напыления с использованием соответствующих мишеней. Пермаллой состава Fe₂₀Ni₈₀ был выбран в качестве материала для основных магнитных слоев, так как известен своей магнитной мягкостью. Толщина слоев пермаллоя составляла 170 нм, так как ранее нами было установлено, что при используемых нами параметрах напыления для пленок пермаллоя L_c составляет ~180 нм. Поэтому нулевой толщине прослойки соответствовала однослойная пленка FeNi толщиной 340 нм, которая находилась в «закритическом» состоянии и ее H_c превышала 10 Э. Толщина магнитной прослойки L_p изменялась в интервале от 0 до 20 нм. Материал для магнитной прослойки выбирался, исходя из литературных данных о величине интегралов обменного взаимодействия J (таблица) и имеющихся в наличии мишеней. При этом использовались материалы, величина интеграла обменного взаимодействия которых как не уступала по величине аналогичному параметру пленки Fe₂₀Ni₈₀, так и была заметно ниже последнего. Среди приведенных материалов самая большая величина J соответствует кобальту, более того, она даже выше аналогичного параметра для пермаллоя ($3,5 \times 10^{-14}$ эрг). Отдельно отметим, что гадолиний имеет температуру

Кюри (T_c) 293 К для объемных образцов, а для пленок она не превышает 285 К, кроме того, при толщинах пленок Gd менее 6 нм наблюдается резкое снижение T_c (A.V. Svalov, V.O. Vas'kovskiy, J.M. Barandiaran, K.G. Balymov, A.N. Sorokin, I. Orue, A. Larrafiaga, N.N. Schegoleva, G.V. Kurllyandskaya. Structure and magnetic properties of Gd/Ti nanoscale multilayers. Solid State Phenomena, 2011, Vols. 168-169, p.281). С другой стороны, прослойка Gd, находящаяся между двумя магнитными слоями FeNi, испытывает подмагничивающее действие со стороны указанных слоев, и поэтому Gd при толщине в несколько нанометров может быть в магнитоупорядоченном состоянии при комнатной температуре. Это позволяет рассматривать ее в качестве магнитной прослойки.

Как видно из фиг.1, «закритическое» состояние сохраняется при введении прослойки Co любой толщины. Прослойка Co не уменьшает обменного взаимодействия между слоями FeNi, тем самым трехслойная пленка $\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}/\text{Co}/\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}$ ведет себя как единая магнитная структура, чья толщина превосходит L_c для однослойной пленки FeNi, и «закритическое» состояние воспроизводится и в многослойной структуре. То есть при поиске заданных параметров, а именно низкой коэрцитивной силы и небольшой по величине, но четко выраженной по направлению в плоскости пленки анизотропии, кобальт в качестве материала прослойки не подходит.

Введение в пленку FeNi прослойки CoFe, чей интеграл обменного взаимодействия близок к аналогичному параметру чистого кобальта, также не предотвращает возникновения «закритического» состояния и не обеспечивает требуемые параметры структуры.

Для материалов прослойки с более низким интегралом обменного взаимодействия (Gd-Co и Gd) «закритическое» состояние исчезает, когда величина L_p превышает 1 нм для Gd и 3 нм для Gd-Co (фиг.2). Эти прослойки значительно ослабляют обменное взаимодействие между слоями FeNi, тем самым, разбивая толстую пленку FeNi на два слабовзаимодействующих самостоятельных слоя, чья толщина меньше L_c , что и приводит к исчезновению «закритического» состояния в трехслойных пленках $\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}/\text{Gd}/\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}$ и $\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}/\text{Gd-Co}/\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}$. То есть в приведенном примере второй шаг существенно изменяет коэрцитивную силу в сторону уменьшения.

На образце $\text{FeNi}/\text{Gd}(6\text{нм})/\text{FeNi}$ был проведен дополнительный эксперимент: для него были получены петли гистерезиса при температуре 190 К, что намного ниже T_c для пленки Gd толщиной 6 нм (~ 270 К), то есть прослойка Gd заведомо находилась в магнитоупорядоченном состоянии, и было обнаружено, что «закритическое» состояние отсутствует.

Отметим, что для прослойки Gd-Co H_c уменьшилась до 0,25 Э, а наименьшая $H_c=0,1$ Э была получена для прослойки Gd. Однако при этом минимум на зависимости $H_c(L_p)$ оказался более узким для Gd: уже при $L_p=6$ нм величина H_c выросла до 0,6 Э, а при $L_p=20$ нм до 0,9 Э, в случае же прослойки Gd-Co и при $L_p=20$ нм величина H_c не превысила 0,3 Э (фиг.3). Узость интервала существования низкой H_c не позволяет считать, что пленка с Gd отвечает заданным параметрам. Для более стабильного процесса получения пленок по совокупности параметров предпочтительнее остановится на пленке Gd-Co. Пошаговые действия при этом сокращают время получения нужных параметров в сравнении со сплошным перебором материалов.

Нами использовался для основных слоев пермаллой, но ряд известных материалов, в которых реализуется «закритическое» состояние, включает, например, сплавы CoPt, GdCo. Поэтому использование этих материалов как в одиночном виде, так и в сочетании друг с другом предлагаемый способ не ограничивает. Варьироваться могут и толщины основных слоев, и толщины прослоек в таких сочетаниях.

Вопрос же выбора самого параметра определяется на основе имеющихся данных о свойствах материалов и уровне квалификации исполнителя.

В качестве материала для немагнитной прослойки используют медь, серебро, титан, молибден или другие неферромагнитные металлы или их сплавы, а также неметаллические материалы, например, кремний, оксиды.

Кроме того, предлагаемый способ получения многослойной пленки, состоящей из двух основных магнитных слоев из одного и того же материала и прослойки, выполненной из магнитного материала, отличного от материала слоев, может быть реализован следующим способом.

Сначала формируют первый магнитный слой с толщиной, не превышающей величину, при которой возникает «закритическое» состояние, после чего напыляют

магнитную прослойку из материала, для которого величина интеграла обменного взаимодействия много меньше величины интеграла обменного взаимодействия материала основных магнитных слоев, а затем наносится второй магнитный слой, аналогичный первому, при этом материалы, выбранные в качестве кандидатов для материала прослойки, выстраивают в табличный ряд (ранжируют), например, по убывающей величине указанного интеграла, затем с выбранным шагом выполняют напыление с соответствующими прослойками, определяют степень приближения к требуемым свойствам для многослойной пленки и затем или выполняют следующий шаг по напылению с другим материалом прослойки, или уменьшают выбранный шаг для другого материала из указанного ряда.

При этом между основными магнитными слоями и магнитной прослойкой могут быть введены немагнитные прослойки, а основные магнитные слои могут дополнительно содержать немагнитные прослойки.

Кроме того, толщину одного из слоев выбирают «закритической», а толщину другого изменяют вплоть до «закритической» при выбранной толщине и материале прослойки до нахождения заданных свойств многослойной пленки.

В качестве основных слоев не исключается использование и различных материалов.

Предлагаемый способ получения многослойных пленок, основанный на подборе прослойки и реализованный с использованием магнитных материалов, в отличие от известных способов не только позволяет получить «толстые» магнитные пленки без «закритического» состояния методом ионно-плазменного напыления, но и дополнительно понизить коэрцитивную силу многослойных пленочных структур в сравнении с коэрцитивной силой однослойных пленок при сохранении магнитной сплошности через всю многослойную структуру. Причем толщина основных магнитных слоев может быть как близка к критической, так и заведомо меньше ее.

Кроме того, минимум на зависимости коэрцитивной силы от толщины магнитной прослойки является более широким, чем в случае немагнитной прослойки. Все это имеет важное значение как для расширения применения пленок за счет улучшения их магнитной мягкости, так и метода ионно-плазменного напыления при получении магнитомягких пленочных структур за счет снижения требований к погрешности в толщине при напылении прослоек.

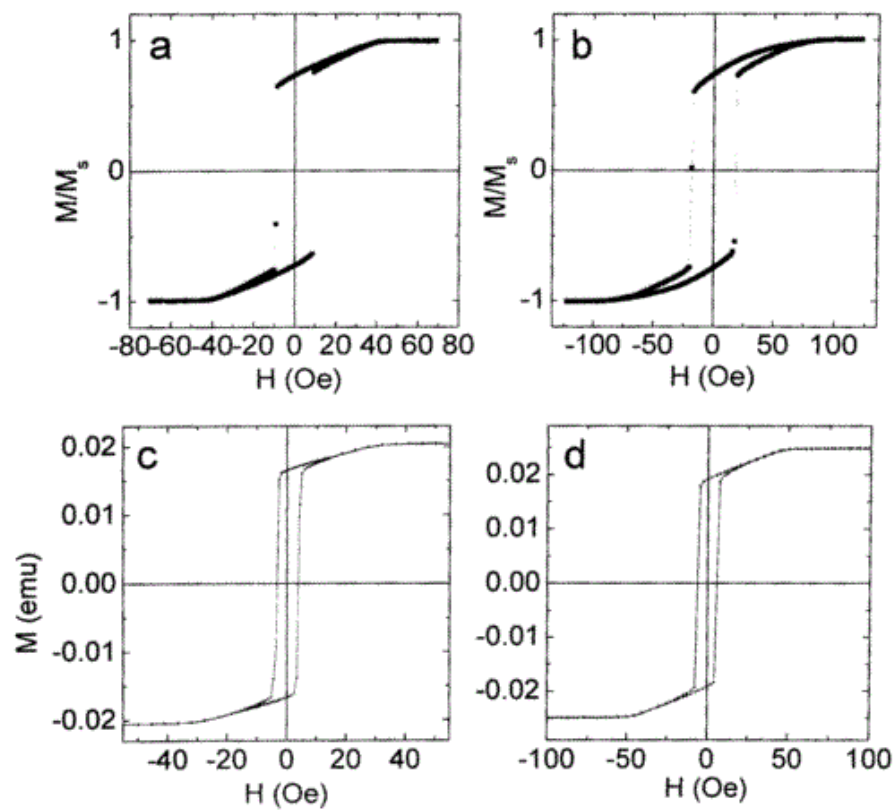
Понятно, что аналогичный подход может быть использован и при задании у слоистых пленок немагнитных параметров.

Таким образом, реализация изобретения позволит расширить технологические возможности способа при ионно-плазменном напылении многослойных пленок и сократить временные затраты, а также расширить диапазон ограничений, накладываемых как на толщину прослойки, так и на толщину основных слоев при получении магнитомягких многослойных пленок за счет оптимизации выбора материала прослойки.

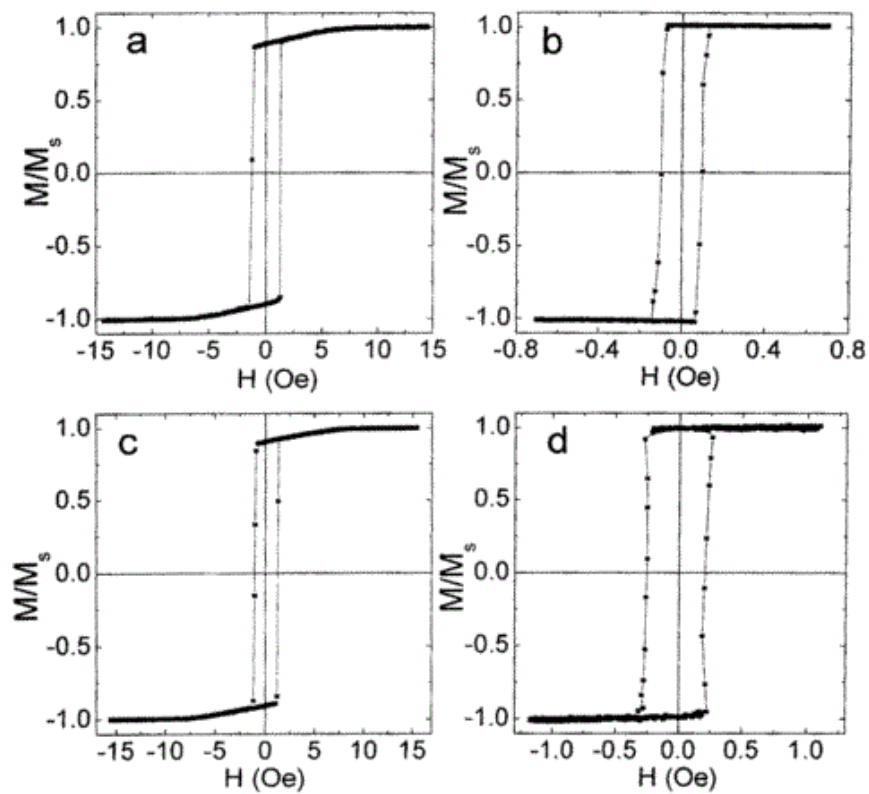
Кроме этого в результате реализации способа для конкретных условий получен магнитный материал с низким значением коэрцитивной силы для высокочувствительных датчиков магнитного поля.

Формула изобретения

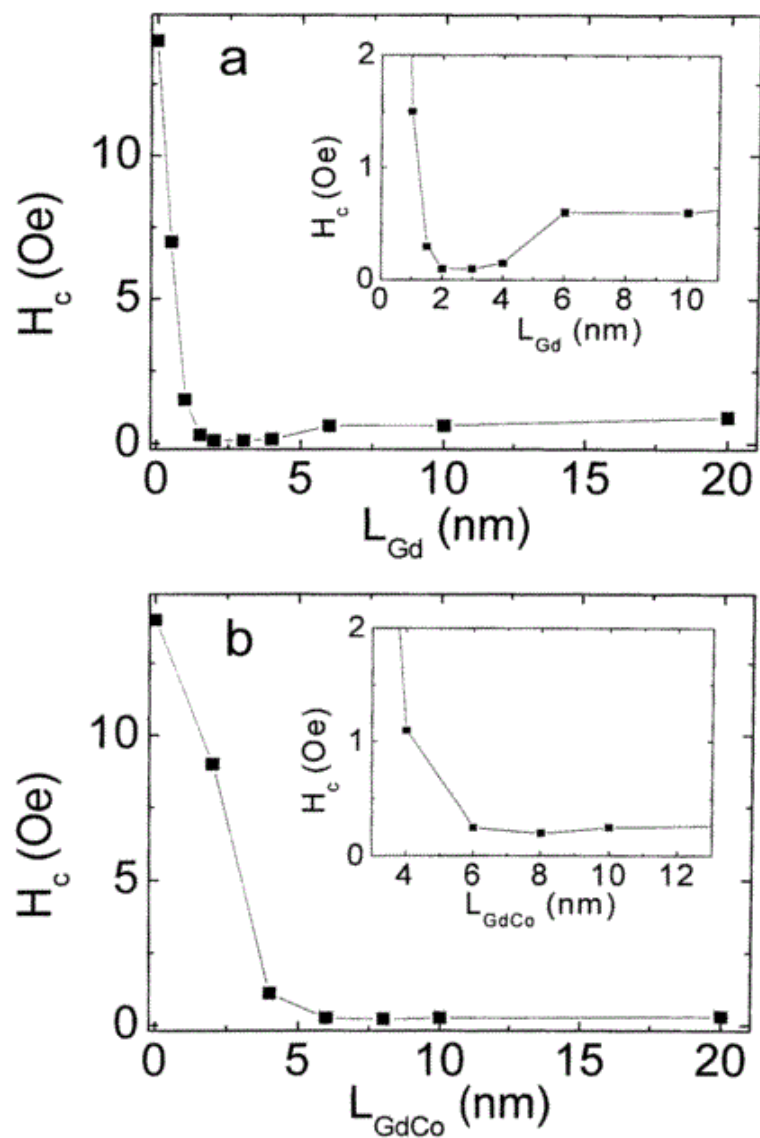
Способ получения многослойных магнитных пленок, включающий ионно-плазменное напыление, по крайней мере, двух основных слоев из одного и того же магнитного материала и прослойки между ними из магнитного материала, отличного от материала основных слоев, отличающийся тем, что основные слои напыляют из магнитомягкого материала толщиной, не превышающей толщину возникновения закритического состояния, а выбор материала прослойки осуществляют путем отбора магнитных материалов, абсолютная величина интеграла обменного взаимодействия, I , у которых ниже, чем у материала основных слоев, ранжирования их по степени убывания I , выполнения напыления с прослойками из материалов с заданным шагом измерения коэрцитивной силы, H_c , сравнения полученных значений с заданным значением H_c для многослойной пленки, при этом при получении значений, отличных от заданного, шаг для выбора ранжированных материалов уменьшают и процесс напыления, измерения значений H_c и сравнения с заданным значением повторяют, а напыление прослойки осуществляют из материала со значением H_c , соответствующим заданному.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

ИЗВЕЩЕНИЯ

ММ4А Досрочное прекращение действия патента из-за неуплаты в установленный срок пошлины за поддержание патента в силе

Дата прекращения действия патента: **15.11.2016**

Дата внесения записи в Государственный реестр: **27.07.2017**

Дата публикации и номер бюллетеня: [27.07.2017](#) Бюл. №21